

## RESUMO

Nos últimos anos, uma equipa de investigadores tem-se dedicado à Arqueometalurgia do território hoje português, em colaboração com institutos públicos, universidades, museus ou empresas de arqueologia. Recentemente, foi aprovado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia o projecto EARLYMETAL, que estuda a evolução metalúrgica nesse território desde os seus primórdios, no Calcolítico, até ao período Orientalizante.

Os autores sintetizam os objectivos, os equipamentos e as infraestruturas utilizadas, e apresentam alguns dos resultados já obtidos.

PALAVRAS CHAVE: Arqueometalurgia; Calcolítico; Idade do Bronze.

## ABSTRACT

In recent years, a team of researchers has been focusing on Archaeometallurgy on the Portuguese territory, in cooperation with public institutions, universities, museums and archaeological companies. The EARLYMETAL project, which studies metallurgical evolution in that territory from the earliest times in the Chalcolithic to the Orientalizing period, was recently approved by the Portuguese Foundation for Science and Technology.

The authors summarise the aims, equipment and infrastructures used and present some of the results achieved so far.

KEY WORDS: Archaeometallurgy; Chalcolithic; Bronze age.

## RÉSUMÉ

Ces dernières années, une équipe de chercheurs s'est investie dans l'Archéo-métallurgie sur le territoire aujourd'hui portugais, en collaboration avec des instituts publics, universités, musées et entreprises d'archéologie.

Récemment, a été approuvé par la Fondation pour la Science et la Technologie le projet EARLYMETAL qui étudie l'évolution métallurgique sur ce territoire depuis l'origine, au Chalcolithique, jusqu'à la période Orientalisante.

Les auteurs synthétisent les objectifs, les équipements et les infrastructures utilisées, et présentent certains des résultats déjà obtenus.

MOTS CLÉS: Archéo-métallurgie; Âge du Cuivre; Âge du Bronze.

# Investigação em Arqueometalurgia em Portugal

## resultados recentes e perspectivas futuras de uma equipa multidisciplinar

M. F. Araújo<sup>I</sup>, R. J. Silva<sup>II</sup>, J. C. Senna-Martinez<sup>III</sup>,  
P. Valério<sup>I</sup>, E. Figueiredo<sup>I,II</sup>, A. Monge Soares<sup>I</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

Os trabalhos no campo da arqueometalurgia deram um passo significativo no nosso país durante a década de 70 do século passado. Contribuiu para esse facto o desenvolvimento dos detectores semi-condutores de Si(Li), que permitiram a construção de espectrómetros de fluorescência de raios X, dispersivos de energias, equipamentos fundamentais para realizar análises completamente não destrutivas em artefactos com interesse arqueológico e/ou museológico. Até aí, as análises de composição elementar eram realizadas recorrendo a métodos que exigiam a recolha de uma amostra do artefacto a analisar, o que comprometia seriamente a integridade desses materiais culturais. É disso exemplo o projecto “Studien zu den Anfängen der Metallurgie” (SAM), desenvolvido por investigadores da Universidade de Estugarda, em que foram recolhidas amostras em mais de 22 mil artefactos metálicos arqueológicos no território europeu, incluindo a Península Ibérica (quase 1700 artefactos). As análises foram efectuadas por espectroscopia óptica de emissão, dando origem ao primeiro grande estudo sobre a metalurgia primitiva durante o Calcolítico e a Idade do Bronze na Europa (JUNGHANS *et al.*, 1960, 1964 e 1974).

Assim, nessa época, foram instalados dois espectrómetros de fluorescência de raios X (EDXRF - *Energy dispersive x-ray fluorescence*), que recorriam à utilização de fontes de excitação radioactivas para produção do feixe de radiação primário: um no Centro de Física Atómica da Universidade de Lisboa, pela equipa liderada pelo Prof. F. Bragança Gil, e um

<sup>I</sup> Instituto Superior Técnico / Instituto Tecnológico e Nuclear (IST/ITN), Universidade Técnica de Lisboa, Estrada Nacional 10, 2686-953 Sacavém, Portugal ([faaraujo@itn.pt](mailto:faaraujo@itn.pt); [pvalerio@itn.pt](mailto:pvalerio@itn.pt); [elin@itn.pt](mailto:elin@itn.pt); [amsoares@itn.pt](mailto:amsoares@itn.pt)).

<sup>II</sup> CENIMAT/I3N, Departamento de Ciência dos Materiais, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal ([rjes@fct.unl.pt](mailto:rjes@fct.unl.pt)).

<sup>III</sup> UNIARQ - Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa, Faculdade de Letras, 1600-214 Lisboa, Portugal ([smartinez@iol.pt](mailto:smartinez@iol.pt)).

outro, no então Laboratório de Física e Engenharia Nucleares, em Sacavém (actualmente IST/ITN, Universidade Técnica de Lisboa), pela equipa liderada pelo Prof. J. M. Peixoto Cabral. O princípio desta técnica baseia-se na interacção de radiação electromagnética, de energia apropriada, com a matéria, a qual pode induzir a emissão de radiação característica dos elementos químicos que constituem um dado material. Para além disso, e fazendo uso do acelerador de Van der Graaf instalado no *campus* de Sacavém, foi desenvolvida a técnica de PIXE (*Particle Induced X-ray Emission*), a qual é baseada em fenómenos de emissão semelhantes, embora utilizando um feixe de partículas carregadas como radiação incidente. Iniciaram-se, então, alguns trabalhos de colaboração com arqueólogos (por exemplo, GIL *et al.*, 1979; SOARES *et al.*, 1985 e 1994), numismatas (p. ex., ARAÚJO *et al.*, 1984 e 1993; CABRAL *et al.*, 1979; FERREIRA e GIL, 1981), coleccionadores (p. ex., CABRAL *et al.*, 1980) e museus (p. ex., CABRAL *et al.*, 1983) utilizando estas metodologias de análise não destrutiva.

Contudo, apesar dos vários estudos realizados envolvendo artefactos metálicos arqueológicos, a investigação nesta área só passou a ser feita de uma forma mais sistemática, no *campus* de Sacavém, na sequência de um protocolo celebrado em 1999 entre o Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN) e o Instituto Português de Arqueologia (IPA). Durante o tempo em que esteve activo, até meados da década passada, foram estabelecidos diversos programas de colaboração, um dos quais visava a “Caracterização de Metais e Ligas Metálicas Pré-Históricas”. Neste âmbito, foram realizados trabalhos recorrendo à análise elementar por EDXRF, muitos dos quais foram apresentados em diversas reuniões científicas e publicados em co-autoria em revistas nacionais e internacionais (ARAÚJO *et al.*, 2004; SOUSA *et al.*, 2004; FIGUEIREDO *et al.*, 2007a; VALÉRIO *et al.*, 2006). Entretanto, e na sequência da colaboração de investigadores do ITN com o Departamento de Conservação e Restauro da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL), iniciada em 2002, no âmbito do programa da disciplina de “Métodos de Exame e Análise” e da orientação de trabalhos de estágio de licenciatura e de teses de mestrado e doutoramento, a investigação em arqueometalurgia sofreu um desenvolvimento significativo. A partir de 2005, a cooperação com a FCT/UNL passou a envolver também o CENIMAT/I3N, do Departamento de Ciência dos Materiais da mesma Universidade. Estas colaborações permitiram a utilização de uma maior diversidade de equipamentos e infraestruturas, alargando o tipo de análises anteriormente efectuadas. Assim, passou a ser possível a realização de análises químicas utilizando um feixe com dimensões muito reduzidas e efectuar caracterizações microestruturais, fundamentais na investigação das tecnologias de fabrico dos artefactos. Como consequência, têm sido desenvolvidos projectos de investigação de dimensões variáveis sobre a Metalurgia Pré e Proto-Histórica do território nacional, em colaboração com arqueólogos afectos a museus, universidades e empresas de arqueologia.

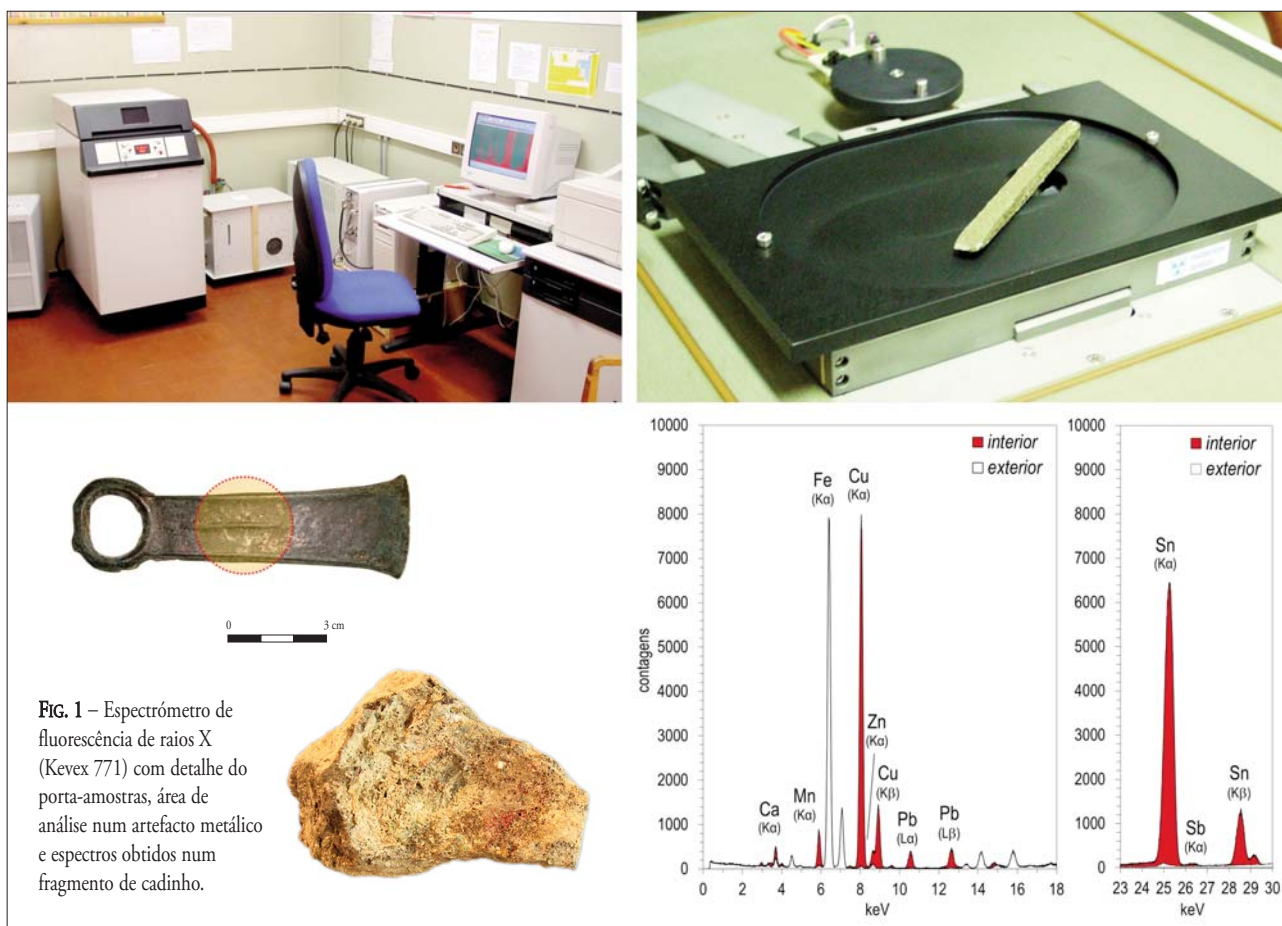
Constituíram etapas marcantes no progresso dos nossos trabalhos, a aprovação para financiamento, através do Concurso de Projectos de Investigação Científica e Desenvolvimento Tecnológico em todos os Domínios Científicos, do projecto “Metalurgia e Sociedade no Bronze Final do Centro de Portugal” (METABRONZE) POCTI/HAR/58678/2004 (responsável, J. C. Senna-Martinez), finalizado em 2009, e os trabalhos de teses de doutoramento em Ciências da Conservação, em particular: “Estudo em metalurgia e corrosão de ligas de cobre antigas do território nacional”, por Elin FIGUEIREDO (2010); e “Estudo arqueometalúrgico de vestígios de produção e artefactos pré e proto-históricos do sul de Portugal”, por Pedro VALÉRIO (2012).

Parte deste último trabalho foi já realizado no âmbito de um grande projecto intitulado “Metalurgia Primitiva no Território Português - EARLYMETAL (PTDC/HIS-ARQ/110442/2008), aprovado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), e que teve o seu início em Abril de 2010.

Este projecto resultou da proposta de reestruturação, sugerida pela FCT, de três projectos submetidos no Concurso de 2008. Estes eram liderados por alguns dos autores deste trabalho, nomeadamente: M. Fátima Araújo (“As Primeiras Etapas Metalúrgicas na Pré-História da Estremadura Portuguesa” - PTDC/HIS-ARQ/099950/2008); J. C. Senna-Martinez (“Origens e Difusão da Produção de Bronzes Binários no Norte e Centro de Portugal, Implicações Arqueometalúrgicas e Sociais” - PTDC/HIS-ARQ/100623/2008); e A. M. Monge Soares (“As Primeiras Ligas de Bronze no Sul de Portugal - Processos Metalúrgicos e Cadeias Operatórias” - PTDC/HIS-ARQ/102112/2008).

Os projectos submetidos propunham-se contribuir para o conhecimento da evolução metalúrgica em períodos cronológicos diferentes (Pré e Proto-História), em regiões distintas do território nacional. Assim, o projecto de fusão aprovado (EARLYMETAL) passou a ter objectivos mais abrangentes, designadamente: *i*) contribuir para o conhecimento das condições técnicas e sociais envolvendo a produção, circulação e consumo dos artefactos metálicos pré e proto-históricos no Ocidente Peninsular; *ii*) reconstituir os processos tecnológicos utilizados; *iii*) determinar as cadeias operatórias utilizadas na manufactura dos artefactos e *iv*) estabelecer a proveniência dos mesmos, através da determinação dos isótopos de chumbo. De uma forma geral, pretende-se reconstruir a evolução metalúrgica no território português desde o Calcolítico ao período Orientalizante, inclusive. A coordenação do projecto EARLYMETAL passou a ser realizada por M. Fátima Araújo, com a co- coordenação de J. C. Senna-Martinez e de A. M. Monge Soares, especificamente no que diz respeito às áreas de intervenção dos subprojectos submetidos (PTDC/HIS-ARQ/100623 e PTDC/HIS-ARQ/102112/2008, respectivamente).

Neste artigo, propomo-nos apresentar alguns exemplos variados, ilustrativos da investigação realizada pela nossa equipa no âmbito da arqueometalurgia no território português nos últimos anos, bem como as infra-estruturas envolvidas.



## 2. METODOLOGIAS ANALÍTICAS

Actualmente, os procedimentos analíticos são realizados recorrendo a vários equipamentos e de acordo com protocolos entretanto estabelecidos, que dependem em grande parte do tipo de materiais em estudo.

De uma forma geral os artefactos são todos analisados, sem qualquer limpeza prévia (numa região circular com diâmetro inferior a 3 cm ( $\varnothing < 3$  cm)), por espectrometria de fluorescência de raios X, dispersiva de energias, recorrendo ao equipamento KeveX 771 (Fig. 1), para a determinação dos elementos constituintes ou identificação de algumas operações metalúrgicas como, por exemplo, as realizadas em cadinhos (ARAÚJO *et al.*, 1993 e 2004). Contudo, no caso de artefactos em que o cobre é o constituinte maioritário (cobres, cobres arsenicais e bronzes), a existência de uma camada de corrosão superficial (de composição e espessura variáveis) pode alterar significativamente os resultados analíticos. Nestes casos, para se obter a verdadeira composição química elementar do interior do artefacto, reveste-se de importância fundamental a limpeza de uma pequena área ( $\varnothing \approx 2$  mm), de forma a expor o interior metálico do artefacto, ou, então, a amostragem (ablação) de um pequeno fragmento metálico. A composição elementar das áreas limpas (sem interferências da camada de corrosão) é obtida por espectrometria de micro-fluorescência de raios X,

com o espectrómetro ARTTAX Pro (Fig. 2), que permite a realização de análises em áreas muito pequenas, dado utilizar um feixe electromagnético de diâmetro muito reduzido ( $\varnothing < 100$   $\mu$ m), com uma elevada precisão e exactidão (FIGUEIREDO *et al.*, 2007b; VALÉRIO *et al.*, 2007). O passo seguinte é a caracterização microestrutural, que se reveste de uma grande importância para a compreensão das técnicas de produção utilizadas (processos termomecânicos/cadeia operatória), bem como na avaliação e extensão dos fenómenos de corrosão. Esta é feita por microscopia óptica, fazendo uso de um microscópio óptico Leica DMI 5000M (Fig. 3). Por último, a caracterização microestrutural de alguns artefactos seleccionados é complementada por microscopia electrónica de varrimento (Zeiss DSM 962) com micro-análise por raios X (Oxford Instruments INCAx-sight EDS), a qual permite identificar e determinar a composição química de fases metálicas e inclusões, possibilitando uma melhor avaliação dos processos de fabrico e caracterização da corrosão, bem como contribuir para uma eventual identificação de matérias-primas (Fig. 4). Os equipamentos utilizados, as condições analíticas e as metodologias referentes à preparação prévia dos artefactos para análise encontram-se descritos em diversos artigos (ARAÚJO *et al.*, 2003 e 2004; FIGUEIREDO *et al.*, 2007b, 2010a e 2010b; VALÉRIO *et al.*, 2007, 2010a e 2010b).



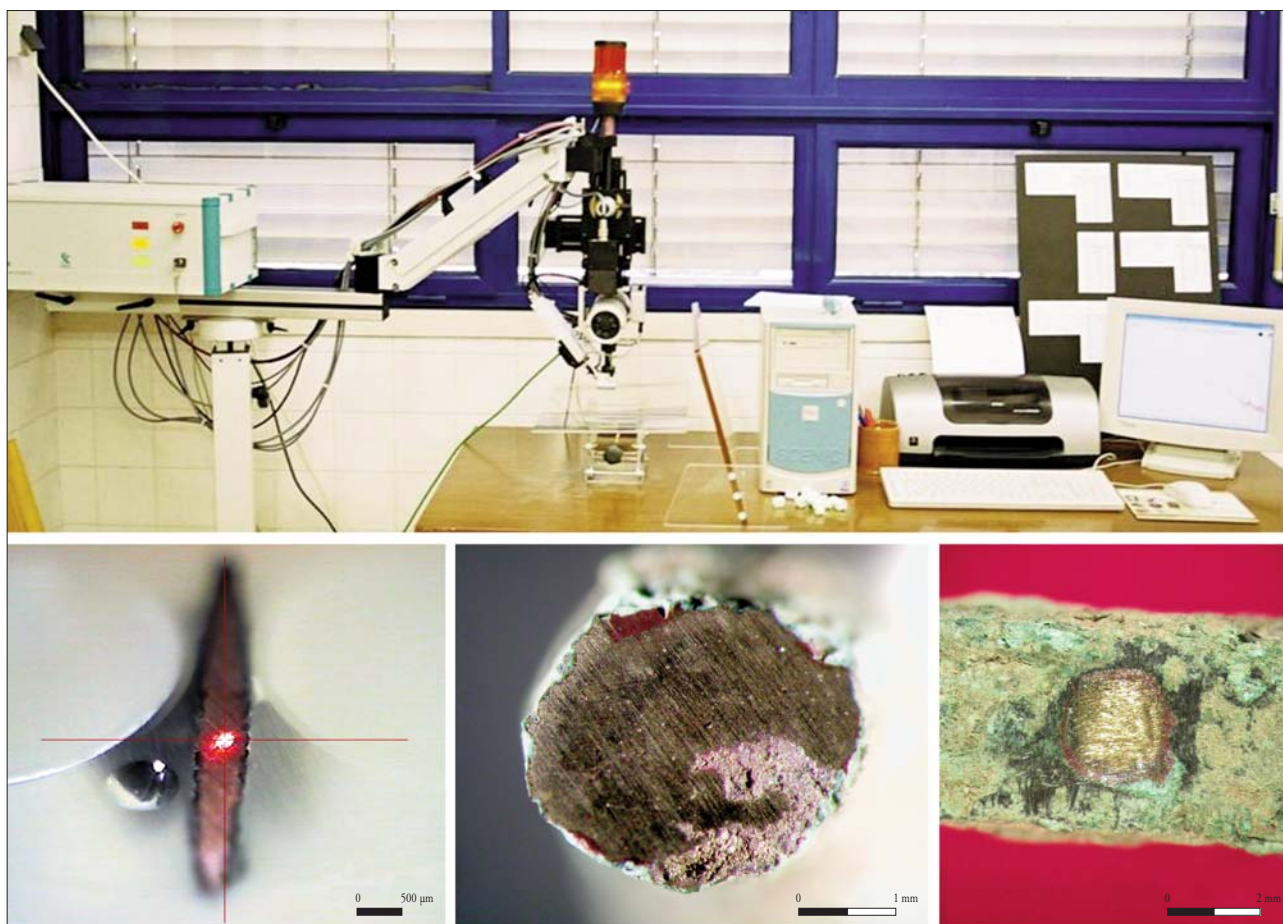


FIG. 2 – Espectrómetro de micro-fluorescência de raios X (ARTAX Pro) com detalhe da área analisada e dois exemplos de artefactos preparados por ablação ou por limpeza de uma pequena área.

### 3. APRESENTAÇÃO DE ALGUNS RESULTADOS

No decurso dos últimos anos foram produzidos trabalhos de colaboração com diversos arqueólogos, muitos dos quais já foram apresentados em Conferências e/ou publicados ou estão em fase de avaliação para publicação. Outros encontram-se ainda em discussão de resultados e preparação de publicações conjuntas.

Apresentam-se, em seguida, alguns exemplos seleccionados de trabalhos realizados, que, por razões variadas, consideramos constituírem contribuições significativas para a compreensão da metalurgia primitiva do nosso território. Entre estes referem-se: a presença consistente de bronzes binários, com baixo teor de impurezas, durante o Bronze Final no Norte e Centro de Portugal; a existência do mesmo tipo de liga no Sul de Portugal durante esse período, a qual continuou a ser produzida numa época mais tardia, já com influências orientalizantes; a evidência de práticas de redução de minérios nas Beiras e de produção de ligas binárias de bronze (co-redução de minérios de cobre e de estanho) no sudoeste; a identificação das cadeias operatórias utilizadas no fabrico de artefactos de bronze; e, técnicas de produção não anteriormente identificadas e descritas para o nosso país, como o douramento por difusão e a soldadura por difusão no estado sólido, na junção de componentes de artefactos em ouro.

#### 3.1. CENTRO/NORTE DE PORTUGAL (GRUPO BAIÕES/SANTA LUZIA)

O conjunto denominado “depósito de Baiões” constitui, desde há muito, referência para os estudos sobre a metalurgia do Bronze Final da Orla Atlântica da Europa e suas relações com o Mediterrâneo. Foi apresentado ao público aquando da exposição “Por Terras de Viriato: Arqueologia da Região de Viseu” (Museu Nacional de Arqueologia, 2000-2001). Num trabalho preliminar (VALÉRIO, 2005; VALÉRIO *et al.*, 2006), foi realizada a caracterização química de artefactos de uma parte significativa do espólio metálico do sítio arqueológico da Senhora da Guia de Baiões. As análises químicas não invasivas de 74 artefactos seleccionados demonstraram que esta colecção metálica é composta por ligas binárias de cobre e estanho (com impurezas de Fe, As, Sb e Pb), o que o integrava perfeitamente no espólio metálico coevo da Beira Alta (VALÉRIO, 2005). Contudo, a aparente contradição existente, dada a presença de influências claramente atlânticas, e a ausência de bronzes ternários, parecia indicar que dos contactos com o mundo Atlântico apenas teria resultado a adopção de diversos modelos artefactuais, continuando, no entanto, a prevalecer as ligas de cobre e estanho, independentemente da funcionalidade e do tipo de artefacto em causa.

...74 ►



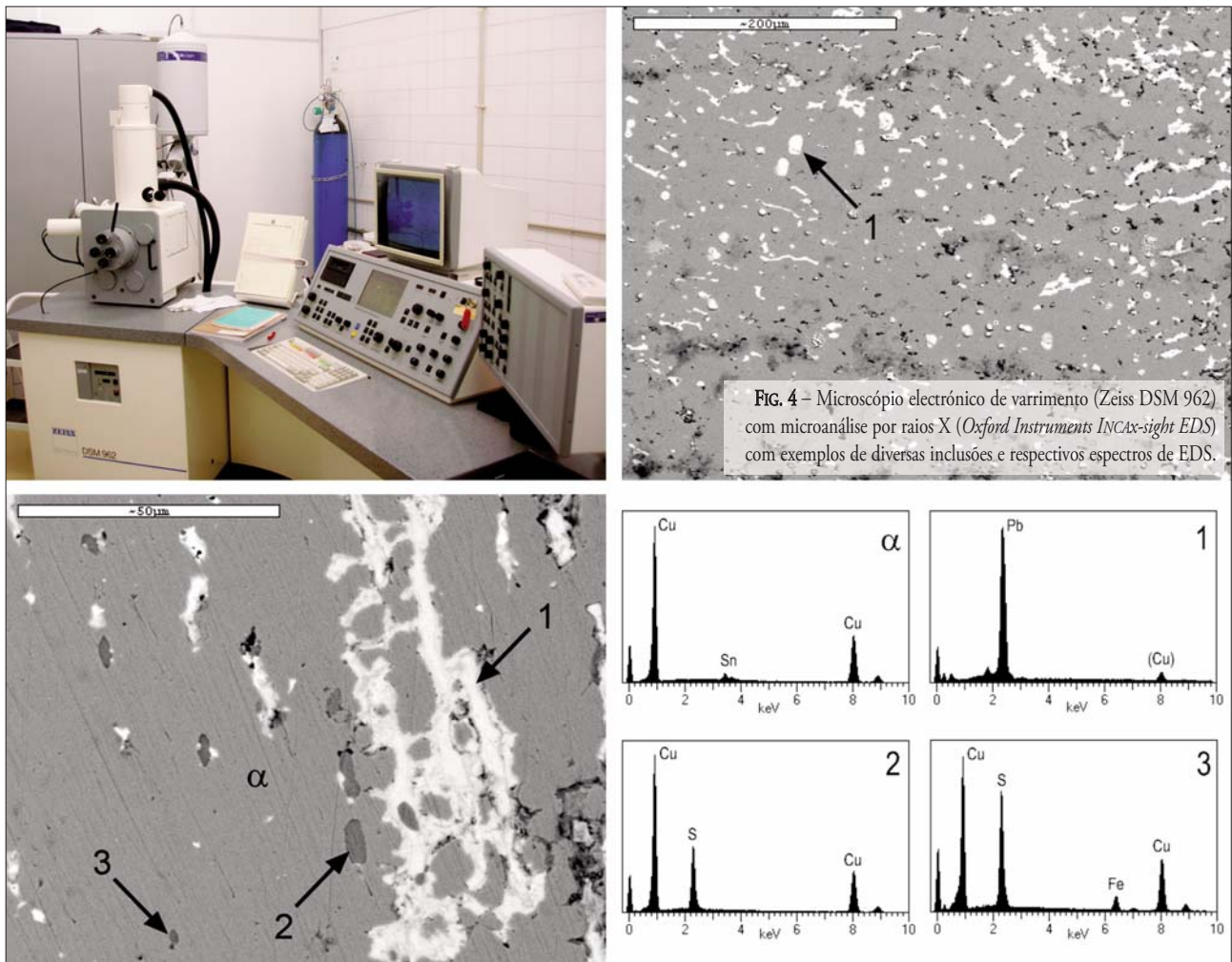
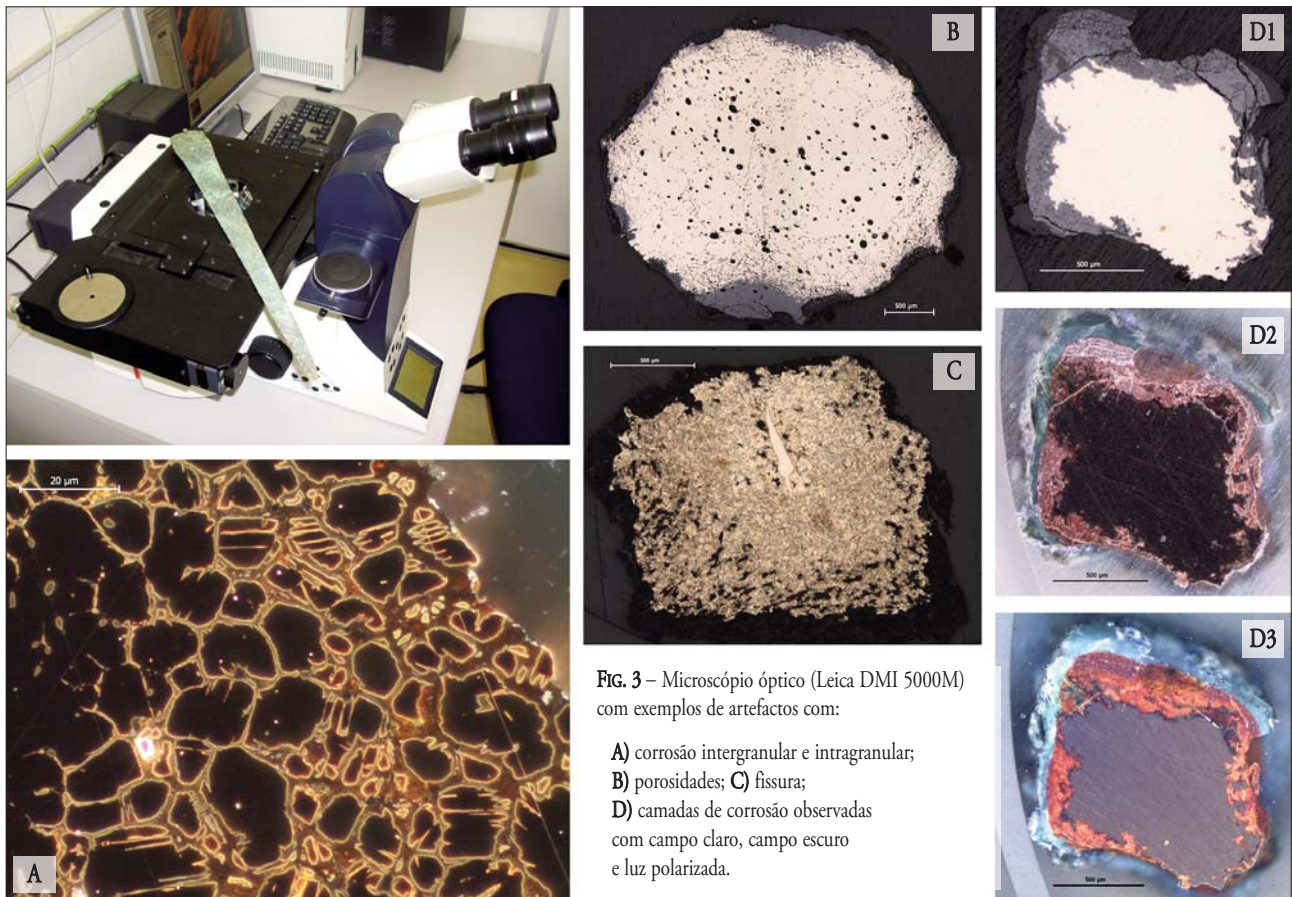




FIG. 5 – Alguns artefactos e restos de produção metalúrgica do Castro da Senhora da Guia de Baiões, destacando-se o fragmento de escória (CSG-315).

◀ 72... Uma mais profunda caracterização das produções metalúrgicas do Mundo Baiões/Santa Luzia foi então iniciada em 2006, no âmbito do projecto METABRONZE (POCTI/HAR/58678/2004), visando uma melhor compreensão da produção metalúrgica no Bronze Final, em territórios do centro de Portugal.

Assim, durante este projecto foi analisado um grande conjunto de artefactos, sendo seleccionados ainda para análise alguns restos de produção metalúrgica, como nódulos metálicos, de que se dispunha em grande quantidade, e que poderiam compreender pingos de fundição e outros vestígios de metalurgia (Fig. 5). Entre estes nódulos encontrava-se um fragmento vitrificado cujas análises acabaram por revelar tratar-se de um fragmento de escória (assinalado com um círculo na Fig. 5).

Os resultados obtidos foram de uma grande importância na compreensão da metalurgia do Bronze Final no Centro de Portugal (FIGUEIREDO, 2010; FIGUEIREDO *et al.*, 2010a e 2010b; SENNA-MARTINEZ, 2010 e 2011; SENNA-MARTINEZ *et al.*, no prelo) e permitiram:

a) Determinar a composição química dos artefactos metálicos produzidos: bronzes binários de “boa qualidade” ( $12,4 \pm 2,5\%$  Sn), com baixos teores de impurezas;

b) Identificar a utilização da técnica de douramento por difusão a quente, não anteriormente descrita para um objecto pré ou proto-histórico do território nacional, e que consistiu na aplicação de uma folha de ouro, com uma espessura muito reduzida ( $< 10 \mu\text{m}$ ), sobre um artefacto de cobre (cravo), seguida de aquecimento;

c) Determinar ciclos diferenciados de tratamentos termomecânicos utilizados para a produção e acabamento dos artefactos;

d) Indiciar a existência de operações de co-redução de minérios de estanho e cobre.

### 3.2. SUDOESTE PENINSULAR (CASTRO DOS RATINHOS)

Trabalhos arqueológicos realizados entre 2004 e 2007 no Castro dos Ratinhos revelaram um importante espólio material no âmbito da metalurgia do bronze e do ouro. Os artefactos recuperados pertencem às duas grandes fases de ocupação deste povoado: uma mais antiga, enquadrável no Bronze Final, a que sucede, sem qualquer hiato, uma segunda ocupação, atribuível à Idade do Ferro Antigo. A esta última pertencem alguns artefactos com claras conexões com o mundo oriental, como, por exemplo, um fecho de cinturão e um ponde-



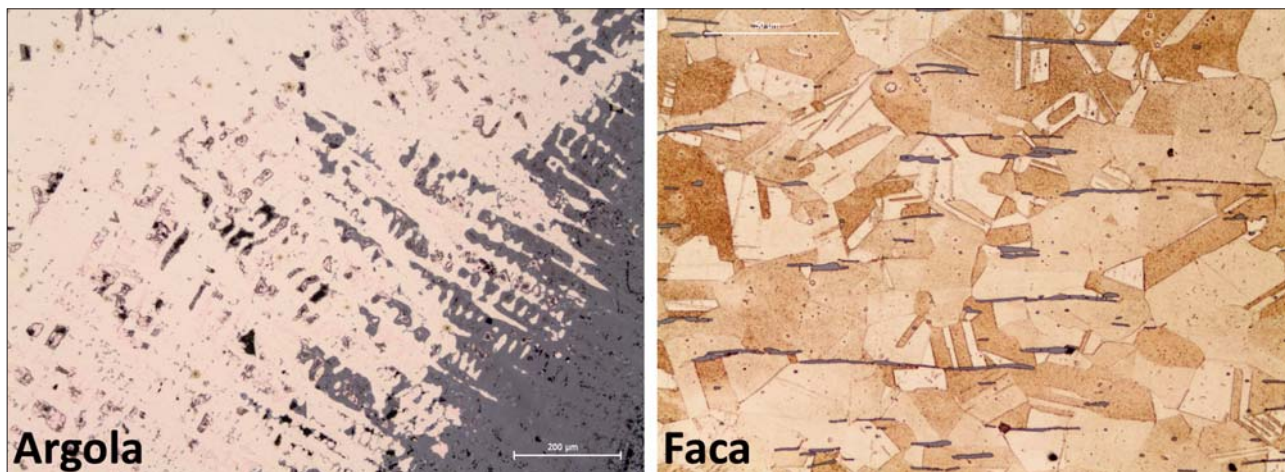


FIG. 6 – Exemplos de artefactos do Castro dos Ratinhos com microestruturas características: argola com microestrutura dendrítica (“as-cast”) e faca com microestrutura de tendência equiaxial com maclas e bandas de deformação (ciclos de martelagem e recozimento, seguidos de uma martelagem final).

ral (BERROCAL-RANGEL e SILVA, 2007), bem como um conjunto magnífico constituído por sete botões em ouro.

### 3.2.1. Artefactos em bronze

A caracterização química da colecção de 54 artefactos à base de cobre, com tipologias diferenciadas (objectos de adorno, utensílios, armas e outros indiferenciados, nos quais se incluem argolas e fragmentos) do Castro dos Ratinhos mostrou que é constituída, sem excepção, por bronzes binários. O pequeno intervalo de variação observado nos teores de Sn ( $10,1 \pm 2,5\%$ ) indicia a ausência de reciclagem de materiais e um bom controlo na produção das ligas. A análise microestrutural permitiu a identificação de cadeias operatórias distintas, que parecem poder estar relacionadas com a funcionalidade dos artefactos (Fig. 6). Assim, alguns dos artefactos ornamentais apresentavam apenas sinais da operação de vazamento, enquanto nos restantes, tais como utensí-

lios e armas, foram claramente identificados ciclos de martelagem e recozimento, seguidos de martelagem final, de forma a aumentar a dureza dos artefactos. Não se identificaram inovações tecnológicas decorrentes dos contactos com o mundo orientalizante, o que parece indicar uma continuidade da tradição da metalurgia do Bronze Final (VALÉRIO *et al.*, 2010a).

### 3.2.2. Artefactos em ouro

Os botões em ouro apresentam dimensões e decorações praticamente idênticas, o que os torna num conjunto homogêneo (Fig. 7). Contudo, só o recurso a métodos de exame e análise pormenorizados poderiam determinar a composição dos vários componentes constituintes dos botões (disco, presilha e fio decorativo), bem como da tecnologia utilizada para os unir. Dado tratarem-se de artefactos manufacturados num metal nobre, com elevado valor museológico, não seria



FIG. 7 – Botões de ouro provenientes de:  
A) Castro dos Ratinhos; B) Fortios; C) Outeiro da Cabeça.

apropriado efectuar qualquer tipo de preparação prévia ao procedimento analítico. Assim, numa primeira fase, realizou-se a análise elementar completamente não destrutiva em ambas as faces dos botões, bem como nas zonas de união (SOARES *et al.*, 2010), tendo-se verificado uma grande homogeneidade nos resultados obtidos. Dada a existência de outros dois conjuntos de botões de ouro provenientes de Fortios e de Outeiro da Cabeça, os quais apresentam tipologias semelhantes (Fig. 7), decidiu-se realizar também a sua análise, tendo-se verificado que apresentavam composições muito semelhantes entre si e com as dos botões dos Ratinhos.

Nas análises efectuadas não se identificaram diferenças composicionais significativas que sugerissem a presença de uma solda. Contudo, a geometria complexa destes artefactos criava incertezas nas áreas de soldadura, isto é, no acesso do feixe incidente às zonas de união entre os vários componentes dos botões. Assim, a existência de um fragmento de um botão de ouro do conjunto de Outeiro da Cabeça, possibilitou a amostragem por ablação de um pequeno fragmento, no qual foram realizadas análises por microscopia óptica e por microscopia electrónica de varrimento, com microanálise por raios X. O conjunto de análises realizadas indicam que:

- a) Os botões de ouro analisados tinham composições químicas muito semelhantes, características da 1ª Idade do Ferro do Sudoeste Peninsular;
- b) Os vários componentes teriam sido soldados por fusão localizada e difusão no estado sólido;
- c) Dadas as semelhanças tipológicas e de composição elementar, bem como a utilização da mesma técnica de junção de componentes, os três conjuntos de botões terão sido produção de uma mesma oficina.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Consideramos que, ao longo dos últimos anos, se deram passos significativos na compreensão da metalurgia pré e proto-histórica do território português, os quais têm servido para abrir novas vias de investigação. Actualmente, a equipa está maioritariamente dedicada à execução do projecto EARLYMETAL, tendo entretanto submetido outras propostas para financiamento, de modo a poder dar continuidade a estes estudos. No âmbito do EARLYMETAL, iniciou-se o estudo de outras colecções e tem-se investido no desenvolvimento de novos métodos analíticos, de forma a poder alargar o âmbito da nossa investigação em arqueometalurgia.

Entre as novas colecções em estudo, destacamos um conjunto significativo de artefactos metálicos da colecção de Vila Nova de S. Pedro, depositada no Museu Arqueológico do Carmo.

O estudo desta colecção, conjuntamente com materiais metalúrgicos da mesma época recolhidos em contextos arqueológicos bem estratigrafados e datados pelo radiocarbono, nomeadamente de Leceia (Oeiras), Outeiro Redondo (Sesimbra) e Moita da Ladra (Vila Franca de Xira), permitirá a caracterização das condições técnicas que envolveram as primeiras etapas metalúrgicas na Estremadura portuguesa, as quais são datáveis do Calcolítico (III Milénio a.C.). Para além desta, encontra-se em estudo um conjunto de machados do tipo Bujões/Barcelos, depositados no Museu Nacional de Arqueologia (machados provenientes do território português, entre Minho e Algarve), bem como em outros museus regionais do Minho e Trás-os-Montes. O estudo destes machados, bem como de outros materiais recuperados em escavações recentes em dois sítios do Norte de Portugal – Sola (Minho) e Fraga dos Corvos (Trás-os-Montes) –, visa compreender e caracterizar as condições técnicas e sociais que envolvem a produção, circulação e consumo dos primeiros objectos de bronze no Centro e Norte de Portugal (SENNA-MARTINEZ, 2007).

Provenientes do Sul do actual território nacional, encontram-se igualmente em estudo várias colecções resultantes de escavações arqueológicas integradas em diversos projectos de investigação, bem como de intervenções arqueológicas de emergência recentemente efectuadas por empresas de arqueologia e resultantes da implementação da rede de rega associada ao empreendimento do Alqueva – Entre Águas 5 (Serpa), Casarão da Mesquita 3 e 4 (Évora), Monte da Cabida 3 (Évora), Salsa 3 (Serpa), Martes (Redondo), Cerro da Mangancha (Aljustrel), Torre Velha 3 (Serpa), Quinta do Almaraz (Almada) e Palhais (Beja).

Pretende-se sobretudo identificar os métodos de produção das ligas de bronze, assim como os tipos de liga e cadeias operatórias utilizadas para as diferentes tipologias de artefactos durante o Bronze Final e a 1ª Idade do Ferro, identificando deste modo as modificações tecnológicas induzidas pelos contactos orientalizantes.


Para além das metodologias anteriormente utilizadas, estamos a desenvolver métodos de determinação de razões isotópicas de chumbo em artefactos e outros restos metalúrgicos, por espectrometria de massa com ionização acoplada por plasma (ICP-MS), recorrendo a um espectrómetro Perkin-Elmer, ELAN® DRC-e (Fig. 8). Numa fase exploratória, fizeram-se determinações de razões isotópicas em dois tipos de artefactos metálicos: glandes de chumbo do período romano e bronzes do Norte de Portugal com teores variáveis de chumbo ( $\approx 2 - 6\%$ ).

A interpretação da assinatura isotópica de Pb em artefactos metálicos arqueológicos é uma poderosa ferramenta científica para a identificação da origem das matérias-primas que lhes deram origem. Contudo, apesar de existirem vários estudos de proveniência realizados na Península Ibérica, só muito recentemente foram realizados alguns primeiros ensaios em artefactos provenientes de sítios portugueses, no âmbito da colaboração com investigadores do Instituto Arqueológico Alemão (MÜLLER e CARDOSO, 2008; MÜLLER e SOARES, 2008).





**FIG. 8** – Espectrómetro de massa com ionização acoplada por plasma (Perkin- Elmer, ELAN DRC-e).

Com o desenvolvimento desta nova metodologia, pretendemos contribuir para a identificação de depósitos minerais utilizados como fontes de matéria-prima, durante a Pré-História, para a produção de artefactos à base de cobre (cobres, cobres arsenicais e bronzes). 

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer o apoio do Museu Nacional de Arqueologia, que há mais de uma década nos vem cedendo materiais das suas colecções para estudo.

Agradecemos, igualmente, a colaboração de todos os arqueólogos que, ao longo destes anos, nos disponibilizaram materiais para estudo. Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto “Metalurgia Primitiva no Território Português - EARLYMETAL” (PTDC/HIS-ARQ/110442/ 2008), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). Elin Figueiredo agradece o financiamento concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através da bolsa SFRH/BPD/ 173245/2010.

## BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, M. F. D.; CABRAL, J. M. P. e MARQUES, M. G. (1984) – “The silver contents of the reais brancos of Dom João I of Portugal”. In MARQUES, M. G. (ed). *Problems of Medieval Coinage in the Iberian Area*. Instituto Politécnico de Santarém, pp. 231-242.
- ARAÚJO, M. F. D.; ALVES, L. C. e CABRAL, J. M. P. (1993) – “Comparison of XRF and PIXE in the analysis of ancient gold coins”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 75: 450-453.
- ARAÚJO, M. F. D.; PINHEIRO, T.; VALÉRIO, P.; BARREIROS, A.; SIMIONOVICI, A.; BOHIC, S. e MELO, A. (2003) – “Analysis of a Roman Centaurus from Canas de Senhorim (Portugal). Comparative study using EDXRF and SRXRF”. *J. Phys. IV France*. 104: 523-526.
- ARAÚJO, M. F. D.; BARROS, L.; TEIXEIRA, A. C. e MELO, A. Á. (2004) – “EDXRF study of prehistoric artefacts from Quinta do Almaraz (Cacilhas, Portugal)”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 213(1): 741-746.
- BERROCAL-RANGEL, L. e SILVA, A. C. (2007) – “O Castro dos Ratinhos (Moura, Portugal). Um complexo defensivo no Bronze Final do sudoeste peninsular”. In BERROCAL-RANGEL, L. e MORET, P. (eds.). *Paisajes Fortificados de la Edad del Hierro*, pp.: 169-190.
- CABRAL, J. M. P.; POSSOLO, A. e MARQUES, M. G. (1979) – “Non-destructive analysis of reais and fortes of Dom Fernando of Portugal by x-ray spectrometry”. *Archaeometry*. 21: 219-231.
- CABRAL, J. M. P.; ARAÚJO, M. F. D. e GOUVEIA, M. A. (1980) – “Aplicação de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X na Verificação da Autenticidade de uma Taça de Prata”. *Revista Portuguesa de Química*. 22: 71-75.
- CABRAL, J. M. P.; ARAÚJO, M. F. D. e ALARCÃO, A. M. (1983) – “Análise Química Não-Destrutiva de Dois Cadinhos Achados em Conímbriga”. *Conímbriga*. 23: 159-168.
- FERREIRA, G. P. e GIL, F. B. (1981) – “Elemental analysis of gold coins by Particle Induced X-Ray Emission (PIXE)”. *Archaeometry*. 23 (2): 189-197.
- FIGUEIREDO, E. (2010) – *A study on metallurgy and corrosion of ancient copper-based artefacts from the Portuguese territory*. Tese de doutoramento em Ciências da Conservação, Departamento de Conservação e Restauro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 167 p.
- FIGUEIREDO, E.; MELO, A. e ARAÚJO, M. F. D. (2007a) – “Artefactos Metálicos do Castro de Pragança: um estudo preliminar de algumas ligas de cobre por espectrometria de fluorescência de raios X”. *O Arqueólogo Português*. Série IV. 25: 195-215.
- FIGUEIREDO, E.; VALÉRIO, P.; ARAÚJO, M. F. D. e SENNA-MARTINEZ, J. C. (2007b) – “Micro-XRF surface analyses of a bronze spear head: lead content in metal and corrosion layers”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*. 580: 725-727.

- FIGUEIREDO, E.; SILVA, R. J. C.; SENNA-MARTINEZ, J. C.; ARAÚJO, M. F. D.; FERNANDES, F. M. B. e INÊS VAZ, J. L. (2010a) – “Smelting and recycling evidences from the Late Bronze Age habitat site of Baiões (Viseu, Portugal)”. *Journal of Archaeological Science*. 37: 1623-1634.
- FIGUEIREDO, E.; SILVA, R. J. C.; ARAÚJO, M. F. D. e SENNA-MARTINEZ, J. C. (2010b) – “Identification of ancient gilding technology and Late Bronze Age metallurgy by EDXRF, Micro-EDXRF, SEM-EDS and metallographic techniques”. *Microchimica Acta*. 168: 283-291.
- GIL, F. B.; FERREIRA, G. P. e CARDOSO, J. (1979) – “Análise por Fluorescência de Raios X de Peças de Cobre do Castro de Leceia”. *Setúbal Arqueológica*. 5: 103-106.
- JUNGHANS, S.; SANGMEISTER, E. e SCHRÖDER, M. (1960) – “Metallanalysen kupferzeitlicher und frühbronzezeitlicher Bondenfunde aus Europa”. *Studien zu den Anfängen der Metallurgie*. Berlin: Gerb. Mann Verlag. 1.
- JUNGHANS, S.; SANGMEISTER, E. e SCHRÖDER, M. (1968) – “Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas”. *Studien zu den Anfängen der Metallurgie*. Berlin: Gerb. Mann Verlag. 2/1-3.
- JUNGHANS, S.; SANGMEISTER, E. e SCHRÖDER, M. (1974) – “Kupfer und Bronze in der frühen Metallzeit Europas”. *Studien zu den Anfängen der Metallurgie*. Berlin: Gerb. Mann Verlag. 2/4.
- MÜLLER, R. e CARDOSO, J. L. (2008) – “The origins and the use of copper at the chalcolithic fortification of Leceia, Portugal”. *Madrider Mitteilungen*. 48: 64-93.
- MÜLLER, R. e SOARES, A. M. M. (2008) – “Traces of early copper production at the chalcolithic fortification of Vila Nova de São Pedro, Portugal”. *Madrider Mitteilungen*. 48: 94-114.
- SENNA-MARTINEZ, J. C. (2007) – “Aspectos e Problemas das Origens e Desenvolvimento da Metalurgia do Bronze na Fachada Atlântica Peninsular”. *Estudos Arqueológicos de Oeiras*. 15: 119-134.
- SENNA-MARTINEZ, J. C. (2010) – “Um Mundo Entre Mundos”. O grupo Baiões / Santa Luzia: sociedade, metalurgia e relações inter-regionais”. *Iberografias*. 6: 13-26.
- SENNA-MARTINEZ, J. C. (2011) – “La «conexión lusitana»: contactos orientalizantes y búsqueda de estaño y oro en el Centro-Norte portugués”. In DOMÍNGUEZ PÉREZ, J.C. (ed.). *Gadir y el Círculo del Estrecho Revisados. Propuestas de la arqueología desde un enfoque social*. Cádiz: Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía, pp. 285-296.
- SENNA-MARTINEZ, J. C.; FIGUEIREDO, E.; ARAÚJO, M. F. D.; SILVA, R. J. C.; VALÉRIO, P. e VAZ, J. L. I. (no prelo) – “Metallurgy and Society in «Baiões/Santa Luzia» Culture Group: Results of the METABRONZE Project”. In *Actas do 1º Congresso Internacional Povoamento e Exploração de Recursos Mineiros na Europa Atlântica Ocidental* (Braga, Dezembro de 2010).
- SOARES, A. M.; ARAÚJO, M. F. D. e CABRAL, J. M. P. (1985) – “O Castelo Velho de Safara: vestígios da prática metalúrgica”. *Arqueologia*. 11: 87-98.
- SOARES, A. M. M.; ARAÚJO, M. F. D. e CABRAL, J. M. P. (1994) – “Vestígios da Prática de Metalurgia em Povoados Calcolíticos da Bacia do Guadiana, Entre o Ardila e o Chança”. In CAMPOS CARRASCO, Juan M.; PÉREZ MACÍAS, J. Aurelio e FRANCISCO GÓMEZ (eds.). *Actas del Enc. Int. de Arqueología del Suroeste - Arqueología en el entorno del Bajo Guadiana*, pp. 165-200.
- SOARES, A. M. M.; VALÉRIO, P.; SILVA, R. J. C.; ALVES, L. C. e ARAÚJO, M. F. D. (2010) – “Early Iron Age gold buttons from South-Western Iberian Peninsula. Identification of a gold metallurgical workshop”. *Trabajos de Prehistoria*. 67 (2): 501-510.
- SOUSA, A. C.; VALÉRIO, P. e ARAÚJO, M. F. D. (2004) – “Metalurgia Antiga do Penedo do Lexim (Maфра): Calcolítico e Idade do Bronze”. *Revista Portuguesa de Arqueologia*. 7 (2): 97-117.
- VALÉRIO, P. (2005) – *Caracterização Química de Produções Metalúrgicas do Castro da Senhora da Guia de Baiões (Bronze Final)*. Tese de Mestrado em Química Aplicada ao Património Cultural, Departamento Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 135 p.
- VALÉRIO, P. (2012) – *Archaeometallurgical study of Pre and Protohistoric production remains and artefacts from southern Portugal*. Tese de doutoramento em Ciências da Conservação, Departamento de Conservação e Restauro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 160 p.
- VALÉRIO, P.; ARAÚJO, M. F. D.; SENNA-MARTINEZ, J. C. e INÊS VAZ, J. L. (2006) – “Caracterização Química de Produções Metalúrgicas do Castro da Senhora da Guia de Baiões (Bronze Final)”. *O Arqueólogo Português*. Série IV. 24: 289-320.
- VALÉRIO, P.; ARAÚJO, M. F. D. e CANHA, A. (2007) – “EDXRF and Micro-EDXRF studies of Late Bronze Age metallurgical productions from Canedotes (Portugal)”. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 263: 477-482.
- VALÉRIO, P.; SILVA, R. J. C.; SOARES, A. M. M.; ARAÚJO, M. F. D.; FERNANDES, F. M. B.; SILVA, A. C. e BERROCAL-RANGEL, L. (2010a) – “Technological continuity in Early Iron Age bronze metallurgy at the South-Western Iberian Peninsula: a sight from Castro dos Ratinhos”. *Journal of Archaeological Science*. 37: 1811-1919.
- VALÉRIO, P.; SILVA, R. J. C.; ARAÚJO, M. F. D.; SOARES, A. M. M. e FERNANDES, F. M. B. (2010b) – “Microstructural Signatures of Bronze Archaeological Artifacts from the Southwestern Iberian Peninsula”. *Materials Science Forum*. 636-637: 596-604.

## PUBLICIDADE

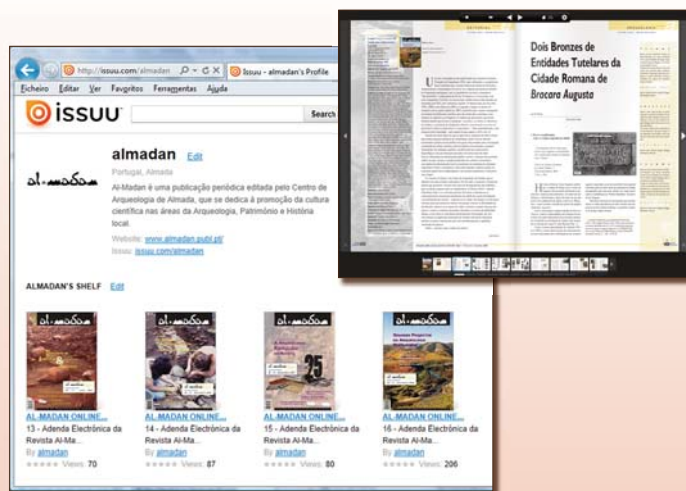
**al-madan**  
online

[<http://www.almadan.publ.pt>]

[<http://issuu.com/almadan>]

revista digital em formato pdf

40 anos uma edição  
**CAA**  
Centro de Arqueologia de Almada  
1972.2012



**mais conteúdos...  
o mesmo cuidado editorial**